

Über eine mikroskopisch-graphische Methode der Bestimmung des Fasergehaltes von Gespinstpflanzen.

(Mit 2 Figuren auf Tafel I.)

Von

Prof. Dr. A. Herzog.

Aus den Arbeiten der Forschungsstelle für Bastfasern in Sorau N.-L.

Die feindliche Absicht, unsere altgewohnten Rohstoffquellen abzuschneiden, und insbesondere unsere blühende Textilindustrie lahmzulegen und zu vernichten, hat natürlich unsererseits dazu geführt, für die bisher aus dem Auslande in großen Mengen bezogenen Faserstoffe, wie Baumwolle, Jute, Schafwolle und Seide Ersatz zu schaffen.

Wohl haben einige der auf diesem Gebiete gemachten zahlreichen Vorschläge zu praktisch brauchbaren Ergebnissen geführt, so daß zu erwarten steht, daß sie auch in Friedenszeiten ihren Wert behalten werden, allein von der überwiegenden Mehrzahl aller Fälle kann dies sicherlich nicht behauptet werden! Leider muß auch festgestellt werden, daß vielfach unter dem fadenscheinigen Deckmantel vaterländischer Gesinnung, Faserpflanzen und Faser-gewinnungsverfahren in marktschreierischer Weise angeboten wurden, die sich bei näherer Prüfung für die Allgemeinheit als gänzlich wertlos erwiesen haben. Auch beweist es eine vollständige Unkenntnis der Sachlage oder eine absichtliche Täuschung der Öffentlichkeit, wenn in einem Atem mit der Rettung des Vaterlandes aus Fasernot angekündigt wurde, daß die angepriesenen Faserstoffe instande sein würden, Baumwolle, Jute, Flachs usw. auch nach dem Kriege vollständig zu ersetzen bzw. zu verdrängen.

Man vergaß eben auf der Suche nach geeigneten Gespinstpflanzen sehr häufig, daß keine höhere Pflanze völlig frei von Fasersträngen ist. Letzteres ist auch selbstverständlich, da die „Fasern“

nach den klassischen Untersuchungen Schwendeners¹⁾ neben der Nährstoffleitung auch die besondere Aufgabe haben, der lebenden Pflanze die zum Gedeihen unbedingt nötige Festigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse zu verleihen. Unter diesen Umständen ist es daher nicht wesentlich, daß eine Pflanze „Fasern“ überhaupt enthält, als vielmehr, daß diese genügend fest, leicht gewinnbar und in den betreffenden Organen der Pflanze so stark angereichert sind, daß ihre Gewinnung im Großen wirtschaftlich wird. Gerade hier fehlt es aber auch dem in der Textilindustrie Tätigen an dem unbedingt nötigen Vergleichsmaßstab, d. h. an einem brauchbaren Bestimmungsverfahren für den technisch in erster Linie maßgebenden Gesamtfasergehalt. Die bekannten technischen Methoden der Faserstoffgewinnung bieten durchaus nicht immer die Möglichkeit, den absoluten und relativen Fasergehalt auch nur einigermaßen einwandfrei zu ermitteln. Wohl reichten einige von ihnen hin, vergleichende Untersuchungen von Organen ein und derselben Pflanzenart, z. B. des Flachses, auszuführen, aber die Verhältnisse ändern sich sofort, sobald man nach dem gleichen Verfahren eine andere Faserpflanze zu bereiten versucht. So eignet sich z. B. die Wasserröste sehr gut zur Bereitung bzw. zur Bestimmung des Fasergehaltes von Flachs und Hanf, nicht aber auch zu der des Ginsters, der *Typha* und des Weidenröschens. Leider sind auch die zahlreichen chemischen Verfahren zur Bestimmung des „Cellulosegehaltes“ nicht ohne weiteres auf die hier vorliegenden Verhältnisse übertragbar, da sie in der Regel keine sichere Trennung der Fasern von den anhängenden Zellgeweben zulassen und weil ferner der chemische Begriff „Cellulose“ durchaus nicht immer mit dem der technischen „Faser“ zusammenfällt.

So ist denn leicht zu verstehen, daß selbst in solchen Kreisen, die sich mit der eingehenden Prüfung von Ersatzfaserpflanzen beschäftigen, Unklarheit über die in den bestimmten Fällen vorliegenden Fasergehalte herrscht. Wenn z. B. von einer Seite der Bastgehalt der wildwachsenden Brennessel zu 25 und mehr % angegeben wurde, während der tatsächliche nur 5—8 % beträgt, so bedeutet dies eine völlig willkürliche Verschiebung des technologischen Begriffes „Faser“, die durch nichts gerechtfertigt ist. Leider hat auch die Tages- und Fachpresse durch kritiklose Verbreitung derartiger haltloser Angaben völlig falsche Vorstellungen verbreitet und Hoffnungen

¹⁾ S. Schwendener, Das mechanische Prinzip im Bau der Monocotylen. Leipzig 1874.

erweckt, die sich in Wirklichkeit niemals werden erfüllen lassen. Ferner muß vorläufig noch dahingestellt bleiben, ob die in einigen Fällen vorgeschlagene „Inkulturnahme“ solcher Pflanzen zu einem praktisch brauchbaren Ergebnis führen wird, insbesondere, ob diese imstande sein wird, den schon vorhandenen, längst bewährten heimischen Textilpflanzen, dem Flachse und Hanfe, die auf eine vieltausendjährige Kultur zurückblicken können, den Rang abzulaufen. Letzteres müßte aber doch auch angestrebt und sicherlich erreicht werden, wenn anders es einen Sinn haben soll, an Stelle eines verstärkten Anbaues von Flachs und Hanf, der Aufnahme neuer Faserpflanzen in den landwirtschaftlichen Betrieb das Wort zu reden. Im übrigen bleibt auch noch sehr zu berücksichtigen, daß die Schwierigkeiten nicht so sehr im Anbau und in der Ernte der Pflanze liegen, als vielmehr in deren technischer Aufschließung und mechanischer Ausarbeitung. Und gerade in dieser Hinsicht haben die bisherigen praktischen Erfahrungen in überreichem Maße gelehrt, daß keine der vorgeschlagenen Gespinstpflanzen dem Flachse gegenüber irgendwelche Vorzüge besitzt, ja diesen auch nur einigermaßen erreicht!

Im Verlaufe zahlreicher Untersuchungen und Begutachtungen von Ersatzfaserpflanzen bin ich zu der Überzeugung gekommen, daß das Mikroskop noch die beste Möglichkeit bietet, über die in einem Pflanzenorgan vorhandene relative und absolute Fasermenge Aufschluß zu geben. Im Hinblick auf die oben auseinandergesetzte Wichtigkeit dieser Angelegenheit, sei es mir im folgenden gestattet, das von mir gewählte Verfahren an der Hand von einigen Originallichtbildern zu erläutern.

Die zur Untersuchung auf Fasergehalt vorliegenden Pflanzen werden sorgfältig sortiert und eine oder mehrere Pflanzen von durchschnittlicher Beschaffenheit zu den nachfolgenden Arbeiten ausgewählt. Diese Vorsicht ist genau zu beachten, da bekanntlich dickere Organe bei sonst gleichen Verhältnissen relativ faserärmer sind als dünnere. Nunmehr wird aus der Mitte des zu untersuchenden Organes (Stengel, Blatt) ein der Länge nach genau bestimmtes Stück (etwa 10 cm) herausgeschnitten und, falls es nicht schon trocken sein sollte, durch mehrtägiges Lagern an der Luft getrocknet und auf einer empfindlichen Wage ausgewogen. Zur Bestimmung der Trockensubstanz wird sodann bei 110° vollständig ausgetrocknet und wieder gewogen. Dieses Gewicht ist der späteren Berechnung des Fasergehaltes zugrunde zu legen. Von einem der beiden Stengel- oder Blattreste wird nunmehr, unmittelbar an die schon vorhandene

Schnittfläche anschließend, ein etwa 1 cm langes Stückchen behutsam abgeschnitten und nach der in der botanischen Histologie allgemein üblichen Härtung mit Alkohol und Einbettung in Paraffin zur Herstellung feiner mikroskopischer Querschnitte verwendet. In manchen Fällen ist die Paraffineinbettung vollständig zu umgehen, vorausgesetzt, daß der zu präparierende Gegenstand freihändig oder mittels des Mikrotomes gut geschnitten werden kann. Als Beobachtungsflüssigkeit empfiehlt sich die Anwendung konzentrierten Glycerins, da dieses vorzüglich aufhellt und auch keinerlei der nachfolgenden Untersuchung nachteilige Veränderungen der Größenverhältnisse der Pflanzengewebe durch Quellung usw. bewirkt. Der zu prüfende Querschnitt wird natürlich selbst bei Benutzung vollkommener Schneideeinrichtungen und völliger Beherrschung der in Frage kommenden Technik nicht immer die gesamte Schnittfläche in tadelloser Beschaffenheit umfassen. Dies ist jedoch kein erheblicher Mangel, da das gleiche Prüfungsergebnis auch mit einem nur teilweise erhaltenen Schnitt erzielt werden kann, sofern die im folgenden gegebenen Winke genau beachtet werden. Auf vollkommen einwandfreie Schnitte, die als Schaupräparate natürlich sonst erwünscht sind, kann also hier verzichtet werden.

Die experimentelle Bestimmung des Gesamtfasergehaltes läuft nun darauf hinaus, die von den Faseranteilen des Organquerschnittes gedeckten Flächen graphisch auszumessen und hieraus unter Berücksichtigung des mittleren spezifischen Gewichtes der Cellulose (1,5 g) die in der oben gewählten Längeneinheit (10 cm) enthaltene Fasermenge zu berechnen. Die praktische Ausführung gestaltet sich nun wie folgt:

Liegt, was in der Regel der Fall sein wird, ein nicht vollständiger Schnitt vor, so ist vor allem für eine möglichst genaue Zentrierung des Präparates Sorge zu tragen. Dies gelingt sehr leicht, wenn ein nach den Angaben Heims von den Optischen Werken E. Leitz in Wetzlar hergestelltes Zählplättchen mit konzentrischen Ringen und 8 Sektoren zur Verfügung steht (vergl. Fig. 1). Es läßt sich ebenso wie ein gewöhnliches Mikrometerplättchen auf die Sehfeldblende des Okulares legen und mit Hilfe der Augenlinse des letzteren scharf einstellen. Es versteht sich von selbst, daß das Zentrieren nur bei schwachen Vergrößerungen vorgenommen werden kann, da der Schnitt, zum mindesten bei Stengel- und Wurzelstücken, vollständig zu überblicken sein muß. Sehr zweckmäßig erweisen sich hierbei die von verschiedenen optischen

Firmen gelieferten Objektive mit veränderlicher Eigenvergrößerung (z. B. a* von C. Zeiss-Jena oder G von Winkel-Göttingen). Über die mit dem besonders geeigneten Winkelschen Objektiv und verschiedenen Okularen erzielbaren Vergrößerungen gibt die folgende Zahlentafel Aufschluss.

Stellung des Index am Objektiv G	Vergrößerungen mit den Huyghensschen und komplanatischen Okularen.				
	1	2	3	4	5
0	5	6	10	12	20
1	6	8	12	16	24
2	7	9	15	18	30
3	9	10	18	20	36
4	10	12	20	24	40
5	11	13	22	26	44
6	12	15	24	30	48
7	13	16	26	32	52
8	14	18	28	36	56
9	15	19	30	38	60
10	16	20	32	40	64

Bei dem verhältnismäßig großen Objektabstand dieser Systeme empfiehlt sich die Verwendung eines besonderen Präpariermikroskops, etwa des nach den Angaben P. Culmanns¹⁾ von der Firma Zeiss-Jena gebauten monokularen, bildaufrichtenden Prismenmikroskops. Wo vorhanden, ist auch das Winkelsche Zeichenmikroskop nach Behrens²⁾ zu derartigen Arbeiten mit großem Vorteil brauchbar, da es bei Benutzung der mitgelieferten Lupen und Objektive eine Reihe von bequem abstufbaren Vergrößerungen zuläßt (2—38) und in Verbindung mit dem Zeichenapparat Nr. 1 dieser Firma in ausgezeichneter Weise auch zum Zeichnen der Schnitte benutzt werden kann. Selbstverständlich sind auch die binokularen Präpariermikroskope sehr gut brauchbar, nur muß beim Zeichnen die Zeichenfläche entsprechend geneigt werden, um Verzerrungen der Bilder zu vermeiden. Am besten geschieht dies mittels des verstellbaren Zeichentisches nach Bernhard³⁾, der heute von verschiedenen optischen Werkstätten geliefert wird. Bei Querschnitten von breiten Blättern tritt insofern eine Änderung in der Vorbereitung der auszumessenden Fläche ein, als es genügt, die Zahl der auf dem Gesamtquerschnitt

¹⁾ Zeitschr. f. wiss. Mikr. 20, 416—420, 1903.

²⁾ Katalog Nr. 52 von R. Winkel, Göttingen, 86—88.

³⁾ Ztschr. f. wiss. Mikr. 9, 439—445, 1892 u. 11, 298—301, 1894.

vorhandenen Gefäßbündel und einfachen Baststränge bzw. deren Einzelfasern zu ermitteln und ihre Fläche nach dem im folgenden angegebenen Verfahren zu bestimmen. Hierbei ist es angezeigt, ein Netzmikrometerplättchen in das Okular einzulegen, um Irrtümer in der Zählung zu vermeiden. Die Zählung kann auch bei dikotylen Stengeln Platz greifen, sofern neben dem primären Bast kein sekundärer vorhanden ist, da in diesem Falle keine nennenswerten Unterschiede in der Ausbildung der Bastzellen vorhanden sind. (Vergl. Fig. 1—2).

Nach erfolgter Zentrierung des Schnittes wird ein vollständig erhaltener, tunlichst großer Sektor ($\frac{3}{4}$ oder $\frac{1}{2}$) des Präparates entsprechend markiert. Es geschieht dies am einfachsten so, daß die Grenzen durch kleine Tuschepunkte, die man mit einer feinen Borste aufträgt, kenntlich gemacht werden. Allgemein gültige Regeln lassen sich hier nicht geben, indessen lehrt die Erfahrung sehr bald das Richtige treffen. Innerhalb des begrenzten Sektors werden nunmehr die Faseranteile, die in der Regel als Bündel auftreten (vergl. Lichtbild 2), mit Hilfe eines mikroskopischen Zeichenapparates genau abgezeichnet, wobei es jedoch genügt, die äußere Begrenzung der Einzelbündel wiederzugeben. Da die Zeichnung in mittlerer Vergrößerung (etwa 300—500) auszuführen ist, muß selbstverständlich das Präparat systematisch so lange verschoben werden, bis sämtliche vorhandene Faseranteile ins Gesichtsfeld gelangt und abgezeichnet sind. In solchen Fällen, wo die Fasern auf dem Schnitte mehr oder weniger getrennt voneinander auftreten, wie z. B. beim Brennessel- und Ramiestengel usw., kann insofern eine Vereinfachung des Meßverfahrens eintreten, als an die Stelle der Zeichnung die einfache Zählung der im begrenzten Sektor enthaltenen Einzelfasern tritt. Selbstverständlich muß aber auch hier die durchschnittliche Querschnittsfläche in der noch anzugebenden Weise bestimmt werden. Die im ersten Falle erhaltenen Zeichnungen der Faserbündel werden nunmehr nach einer der bekannten Methoden ihrer Fläche nach ausgemessen. Am genauesten geschieht dies mit Hilfe eines Polarplanimeters oder nach der von Ambronn angegebenen Methode, bei welcher das gezeichnete Flächenstück ausgeschnitten und auf einer genauen Wage gewogen wird. Aus dem gleichzeitig ermittelten Flächeneinheitengewicht des benutzten Zeichenpapiers läßt sich die dem ausgeschnittenen Stücke entsprechende Fläche leicht berechnen. Zur Not kann die Bestimmung auch mit einem in qmm

geteilten, auf die Zeichnung aufgelegten Pauspapier bzw. einer entsprechenden Gläs- oder Zellhorntafel vorgenommen werden. Um die wahre Größe der von den Faseranteilen gedeckten Fläche zu erhalten, ist natürlich das erhaltene summarische Ergebnis noch durch die ein für allemal genau bestimmte quadratische Vergrößerung der Zeichnung zu dividieren, Wie leicht einzusehen, ist die so gefundene Fläche, die natürlich auf den gesamten Querschnitt umzurechnen ist, noch um den von den Zellkanälen der Fasern gedeckten Flächenanteil zu verringern, da es lediglich auf die von den Zellwänden gedeckte Fläche ankommt. Zu diesem Zweck wird ein dem Durchschnitt entsprechendes Bündel in sehr starker Vergrößerung (1000—2000 linear) abgezeichnet, wobei aber nunmehr auch die Innenbegrenzung der Einzelzellen sorgfältig wiederzugeben ist. Naturgemäß wird diese Zeichnung aus mehreren Teilstücken bestehen, da die starke Vergrößerung immer nur einen Teil des Bündels zu überblicken gestattet. Durch planimetrische Ausmessung wird nunmehr das relative Verhältnis der von der Zellwand und vom Zellkanal gedeckten Querschnittsfläche ermittelt und der endgültigen Berechnung der wirklichen Gesamtfläche der von den Faserwandungen gedeckten Gesamtfläche zugrunde gelegt. In gleicher Weise wird bei den oben erwähnten isolierten Fasern vorgegangen, nur mit dem Unterschied, daß die Berechnung durch Multiplikation der von einer Faserwandung gedeckten Fläche mit der Zahl der früher ermittelten Einzelfasern, die auf den gesamten Organschnitt entfallen, erfolgt. Stellen die zu bestimmenden „Fasern“ neben einfachen Baststrängen auch Gefäßbündel dar, wie dies z. B. bei den Schäften und Blättern der Monocotylen der Fall ist, dann ist das gewählte Verfahren gleichfalls anwendbar, nur mit dem Unterschied, daß bei den Gefäßbündeln auch die Anteile der Parenchym- und Holzzellen in Rechnung gezogen werden müssen, was natürlich die Arbeit ziemlich umständlich macht. In der Regel wird es aber auch hier genügen, nur die von den Bastbelägen allein gedeckten Flächen zu ermitteln, da erfahrungsgemäß die Bastzellen wegen ihrer Zähigkeit und starken Wandverdickung die technisch allein wertvollen Teile des Bündels ausmachen. Der Gesamtfasergehalt des in Untersuchung gezogenen Organes läßt sich nun rechnerisch leicht aus der gefundenen Querschnittsfläche, dem durchschnittlichen spezifischen Gewicht der Fasersubstanz ($s = 1,5 \text{ g}$) und dem eingangs bestimmten Trockensubstanzgewicht eines 10 cm

langen Organteils ermitteln. Bedeuten Q die von den Wandungen der Fasern gedeckte Gesamtquerschnittsfläche in qmm und s das spezifische Gewicht der Faser ($s = 1,5$ g), so ergibt sich das in mg ausgedrückte Gewicht g des in einem 10 cm langen Organstück enthaltenen Bastes zu:

$$g = 100 \cdot Q \cdot 1,5$$

der Fasergehalt F in % berechnet sich hieraus und dem in mg ausgedrückten Gewichte G des 10 cm langen Organstückes zu:

$$F = \frac{100 \cdot g}{G}$$

Es ist einleuchtend, daß die absolute Querschnittsfläche der Einzelbastzelle auch zur Kennzeichnung verschiedener Eigenschaften der technischen Faser herangezogen werden kann. Insbesondere gilt dies von der Feinheit, die nach meinen Erfahrungen besser durch die metrische Nummer im Sinne der Textilindustrie, als durch Angaben von Breiten- und Dickenwerten ausgedrückt wird. Es geht dies μ . a. aus verschiedenen Zusammenstellungen der von mir gefundenen Nummer- und Meßwerte verschiedener Fasern deutlich hervor¹⁾.

Auch zur Beurteilung der Festigkeitsverhältnisse einer Faser erweist sich die Kenntnis der Querschnittsfläche sehr nützlich, da nur die von der Wandung eingenommene Fläche als tragender Querschnitt in Frage kommt.

Wenngleich die vorbeschriebene Methode nur bei genügender Vertrautheit mit mikroskopischen Arbeiten zum Ziel führt, und naturgemäß umständlicher ist als ein rein chemisches Bestimmungsverfahren, so bietet sie dafür den nicht zu unterschätzenden Vorteil, in allen Fällen, d. h. unabhängig von der Schwierigkeit und Art irgend eines technischen Aufschließungs- und Ausarbeitungsverfahrens, anwendbar zu sein. Auch die Möglichkeit, die faserigen Anteile allein, also ohne zellige Anhängsel, in beliebigen Pflanzenteilen bestimmen zu können, muß als besonderer Vorteil bezeichnet werden.

Wie ich aus zahlreichen Prüfungen dieser Art entnehmen konnte, bieten die gefundenen Werte nicht nur ein gutes vergleichbares Material hinsichtlich des relativen Gesamtfasergehaltes verschiedener Pflanzen, sie lassen sich auch mit Vorteil zur Kenn-

¹⁾ A. Herzog, Mikrophotogr. Atlas der technisch wichtigen Faserstoffe. München 1908.

zeichnung der für die Verfrachtung der Pflanzen so wichtigen Volumsverhältnisse heranziehen. Wie nämlich die einfache Überlegung ergibt, stellt der prozentuale Anteil der von den Fasern auf dem Organquerschnitt gedeckten Fläche gleichzeitig auch die Volumsprozente des Bastes dar, da auf verhältnismäßig kurzen Organlängen keine nennenswerten Änderungen in der Verteilung und Mächtigkeit der Ausbildung der faserigen Elemente zu verzeichnen sind. Handelt es sich um genaue Ermittlungen, dann ist es natürlich erforderlich, die vorerwähnte Prüfung auf verschiedene Zonen des betreffenden Organes auszudehnen und aus den so erhaltenen Prüfungsergebnissen den zugehörigen Durchschnitt zu ermitteln.

Selbstverständlich muß in diesem Falle der Gesamtquerschnitt des betreffenden Organstückes vorher ermittelt werden, was am besten gelegentlich der Zentrierung des Schnittes durch mikroskopisches Zeichnen des Organumrisses und durch Auswertung der dargestellten Fläche in sehr rascher Weise ausführbar ist. Ein sehr einfaches Verfahren zur Herstellung tadelloser Übersichtsquerschnitte, die u. a. auch zu photographischen Aufnahmen geeignet sind, habe ich kürzlich eingehend beschrieben¹⁾. Selbstverständlich läßt sich auch auf derart hergestellten Bildern der Anteil der einzelnen Gewebe und des etwa im Innern des Organs befindlichen luftgefüllten Hohlraumes am Gesamtvolumen leicht und rasch ermitteln. (Vergl. Tafel I Fig. 1.)

Erklärung der Tafel I.

Fig. 1. Übersichtsquerschnitt eines Flachstengels (*Linum usitatissimum*) nach Zentrierung mittels der Heimschen Bakterienzählplatte. Vergr. 40.

Fig. 2. Randstück eines Stengelquerschnittes des Leindotters (*Camelina sativa*). In der sekundären Rinde ein aus mehreren mäßig verdickten Bastfasern zusammengesetztes Bündel sichtbar. Vergr. 420.

¹⁾ Zeitschr. f. wiss. Mikr. 34, 241—244, 1918.